

Побігайло В.А., к.т.н., доц.,
Ліповий В.В., магістр
КПІ ім. Ігоря Сікорського

РОЗЧЕПЛЮВАЧІ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИМ СПОВІЛЬНЮВАЧЕМ ЯК ЗАСІБ ЕФЕКТИВНОГО ОБМЕЖЕННЯ АВАРІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

Pobihailo V.A., Cand. Eng. Sc., Assoc. Prof.,
Lipovyy V.V., master
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute

ELECTRIC HYDRAULIC SWITCHES AS A MEANS OF EFFECTIVE LIMITATION OF EMERGENCY PROCESSES

Метою цієї роботи є вирішення питання ефективного обмеження струмів короткого замикання та перевантаження враховуючи відповідним чином наявність особливих умов експлуатації комутаційного захисного обладнання, а саме – надлишкової вібрації та нагріву.

У результаті теоретичних та експериментальних досліджень вже існуючих засобів і методів обмеження аварійних процесів встановлено, що, наразі підвищення ефективності певних конструктивних елементів захисту електричних апаратів – підвищується і експлуатаційна надійність комутаційного захисного обладнання в цілому.

Об'єднання в собі традиційного захисту від струмів короткого замикання – електромагнітний розчеплювач та захисту від струмів перевантаження – біметалевий розчеплювач, дозволяє підвищити ефективність обмеження аварійних процесів в особливих умовах експлуатації комутаційного обладнання, таких як надлишкова вібрація та нагрів.

В данній публікації розглянуто альтернативне конструктивне рішення принципу побудови захисту від струмів перевантаження та короткого замикання в автоматичних вимикачах, а саме використання комбінованого розчеплювача з електрогідравлічним сповільнювачем. Також наведено порівняльний аналіз, теплових залежностей, та часо-струмових характеристик спрацювання вже існуючих конструктивних рішень захисту та запропонованого механізму, шляхом експериментальних досліджень. В публікації представлено конструкцію магнітогідравлічного розчеплювача та принцип його роботи.

Практична важливість запропонованого технічного рішення в порівнянні з використанням традиційних розчеплювачів у наступному: відсутність залежності від температури оточуючого середовища; можливість оперативного повторного включення після аварійної комутації; зменшення часу спрацювання в разі виникнення режиму перенавантаження; стабільність часо-струмових характеристик; стійкість до надлишкової вібрації. Враховуючи переваги використання розчеплювача з електрогідравлічним сповільнювачем в автоматичному вимикачі слід відзначити, що альтернативне технічне рішення захисту від аварійних режимів має перспективу технічного розвитку та вдосконалення в даному електротехнічному напрямку.

Ключові слова: комутація; обмеження струмів; коротке замикання; перевантаження; магнітогідравлічний розчеплювач; вібрація, нагрів.

ВСТУП

Актуальність теми. Відомо, що силові автоматичні вимикачі (АВ) з інсталяцією в розподільчих шафах, більш відомі як «шафові вимикачі», рис. 1, залежно від виконання, призначені [1-6]:

- для захисту від аварійних режимів електричних мереж: перевантаження та короткого замикання (КЗ) або зниження напруги нижче допустимого рівня (в автоматичних вимикачах, встановлених в мережу, захист від зниження напруги не завжди передбачений);

- для захисту електродвигунів змінного струму, а також для інсталяційної комбінації з іншими електричними апаратами (АВ можуть обслуговувати ділянки мережі та окремі електродвигуни, якщо АВ призначені для управління двигуном з фазним ротором або пристроїв з пусковим застосуванням, то в них обов'язково повинен бути передбачений захист від зниження напруги);

- для використання їх в якості роз'єднувачів живлячих та головних мереж.



Рисунок 1 - Загальний вигляд традиційних силових АВ [16]

Захист від струмів перевантаження виконує біметалева пластина, а захист від струмів КЗ – електромагнітний розчеплювач.

Відзначимо основні особливості властиві саме цьому технічному рішенню захисту від струмів перевантаження:

- відносна залежність від температури оточуючого середовища;
- неможливість швидкого повторного включення після спрацювання АВ;
- нестабільність часо-струмових характеристик АВ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Традиційне конструктивне виконання захисту від струмів перевантаження та КЗ в шафових АВ [2-5] зображено на рис. 2, де 1 – біметалева пластина, а 2 – електромагнітний розчеплювач. Відзначимо основні особливості властиві саме цьому технічному рішенню захисту від струмів перевантаження:

- відносна залежність від температури оточуючого середовища, рис. 3;
- неможливість швидкого повторного включення після спрацювання АВ;
- нестабільність часо-струмових характеристик АВ.

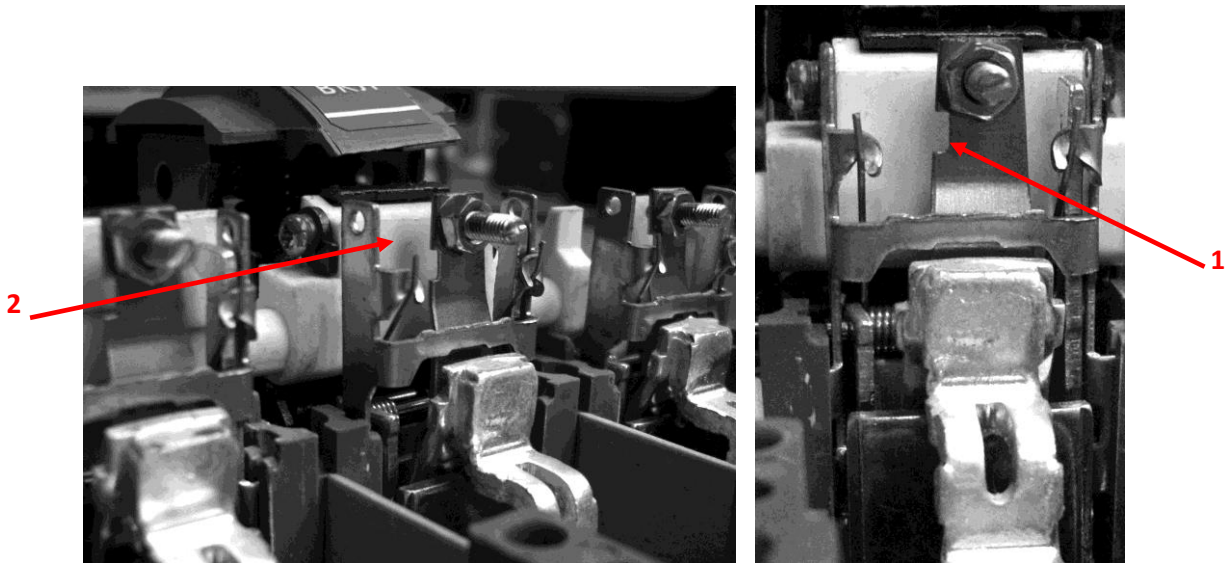


Рисунок 2 - Загальне фото традиційного розчеплювача АВ

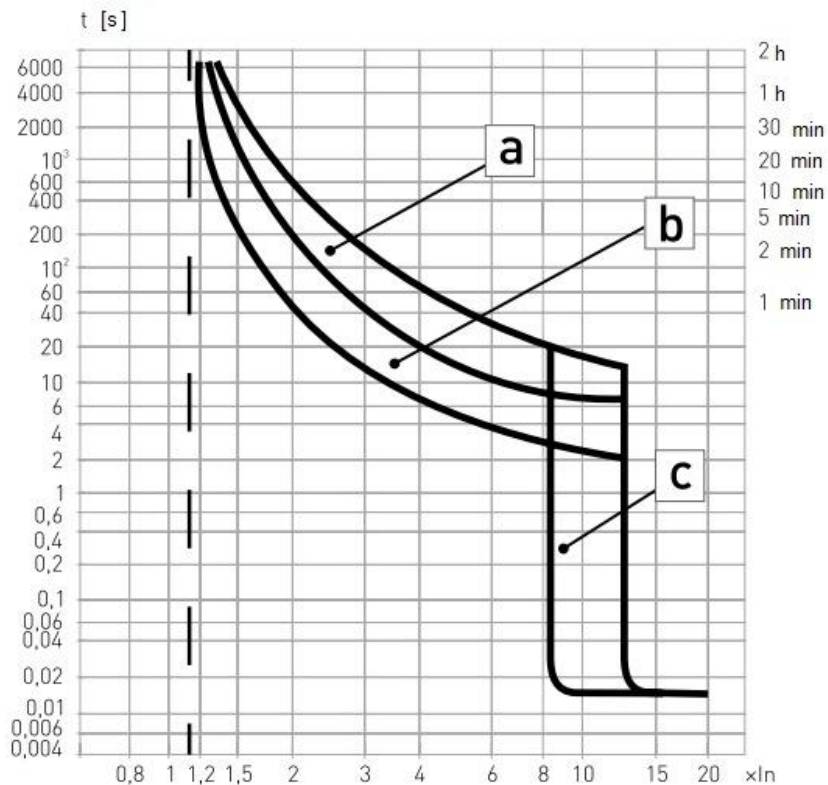


Рисунок 3 - Часо-струмова характеристика спрацювання АВ при використанні традиційних розчеплювачів: а) спрацювання АВ у нагрітому стані при режимі перевантаження; б) спрацювання АВ у холодному стані при режимі перевантаження; с) спрацювання АВ при короткому замиканні

Під час виникнення аварійного процесу – перевантаження, елементи конструкції АВ нагріваються до температур близько 80°C . Це призводить до неможливості його повторного оперативного увімкнення після аварійної комутації. Час затримки увімкнення складає близько 5 хвилин. Для прикладу, на рис. 4 представлено тепловізійну фотозйомку нагріву АВ під час виникнення перевантаження.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування засобів обмеження аварійних процесів: струмів КЗ та перевантаження у виробничих системах за рахунок вдосконалення елементів конструкції автоматичних вимикачів, а саме електромагнітного розчеплювача захисту від короткого замикання та біметалевої пластини – від перевантаження [7-10]. Для досягнення поставленої мети у статті необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз способів і засобів обмеження струмів КЗ у ЕПВС;
- зробити порівняльний аналіз теплових залежностей, та часо-струмових характеристик спрацювання вже існуючих конструктивних рішень захисту та запропонованого механізму, шляхом експериментальних досліджень.



Рисунок 4 - Нагрів АВ під час виникнення аварійного режиму – перевантаження

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Пропонується альтернативне рішення виконання елементів захисту АВ [4], яке є комплексним об'єднанням захисту від струмів перевантаження та КЗ одночасно, а саме розчеплювач з електрогідравлічним сповільнювачем. Зображення конструкції розчеплювача дослідних зразків АВ представлено на рис. 5.

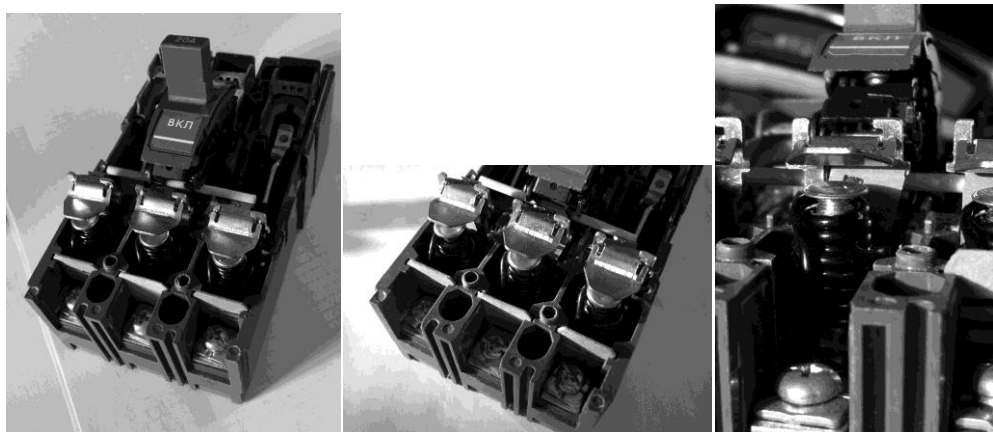


Рисунок 5 - Розчеплювач з електрогідравлічним сповільненням

Розчеплювач з електрогідравлічним сповільнювачем призводить до спрацювання механізму приводу АВ, який розмикає контактну групу АВ при проходженні через електрообладнання струму, що перевищує встановлене максимально допустиме значення (струми короткого замикання або перевантаження). Основна частина цього розчеплювача – електромагніт, котушка якого включається послідовно робочим контактам в коло робочого струму. Ескізне зображення конструкції розчеплювача з електрогідравлічним сповільнювачем представлено на рис. 6. З цієї часо-струмової характеристики ми можемо побачити відсутність залежності АВ від впливу початкової температури АВ у порівнянні із традиційним біметалевим розчеплювачем. Розглянемо принцип дії електромагнітного розчеплювача з гідравлічним сповільненням спрацювання, що забезпечує зворотньо-залежну витримку часу спрацьовування розчеплювача в зоні перевантажень, рис. 5. Автоматичне відключення АВ виконується розчеплювачем при струмах перевантаження і струмах КЗ незалежно від того, утримується або не утримується керуючий важіль «вмикання/вимикання» у включеному положенні. Розчеплювач складається з реле, коромисла, рейки і механізму вільного розчеплення.

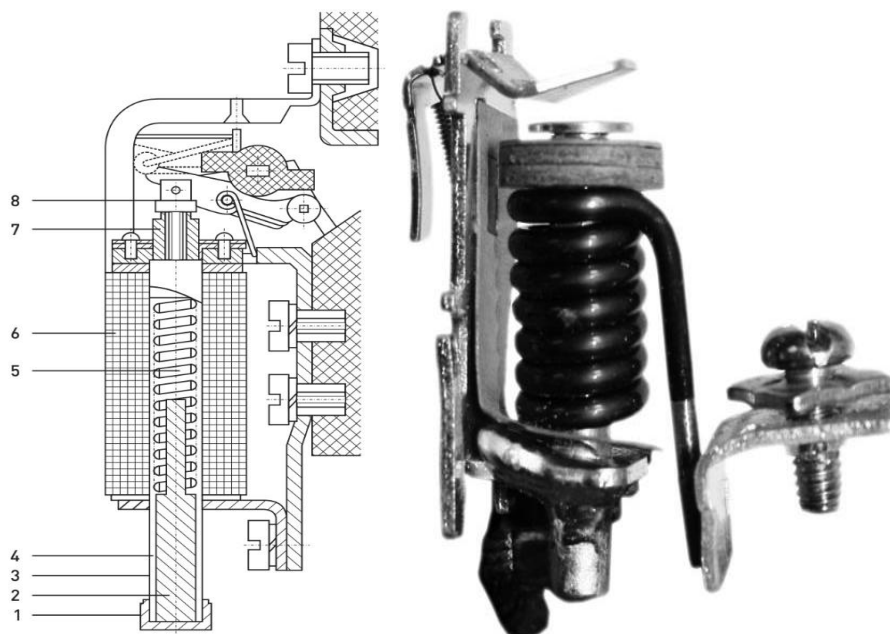


Рисунок - 5 Ескіз розчеплювача АВ з гідравлічним сповільненням: 1 – немагнітна кришка; 2 – плунжер; 3 – циліндричний стакан; 4 – порожнина, що наповнюється кремнійорганічною рідиною; 5 – поворотна пружина; 6 – котушка; 7 – полюсний наконечник; 8 – якір

Реле розчеплювача з гідравлічним сповільненням є електромагнітною системою з двома рухомими частинами: якорем і плунжером. Якір і плунжер є частиною магнітопроводу. Плунжер і пружина переміщуються усередині трубки. Трубка розміщена усередині котушки електромагніту. У трубку заливається кремнійорганічна рідина, яка сповільнює рух плунжера, завдяки своїм хімічним властивостям.

При виникненні струмів перевантаження зростає електромагнітна сила котушки розчеплювача і стає достатньою для здолання протидіючої сили зворотної пружини, тому плунжер починає переміщатися до полюсу осердя. Якір в свою чергу притягується до полюсу осердя при струмі перевантаження, в мить, коли плунжер,

зменшуючи опір магнітного ланцюга при переміщенні усередині осердя, впливає на значення магнітної індукції в повітряному зазорі, необхідне для притягування якоря до полюсу осердя.

При струмах КЗ пересування плунжера не відбувається, в випадку виникнення КЗ значення магнітної індукції в повітряному зазорі достатньо для втягування якоря без витримки часу. Зусилля якоря розчеплювача передається через коромисло на рейку, яка є ланкою механізму вільного розчеплення. Повернення в первинне положення якоря і рейки здійснюється за допомогою поворотних пружин.

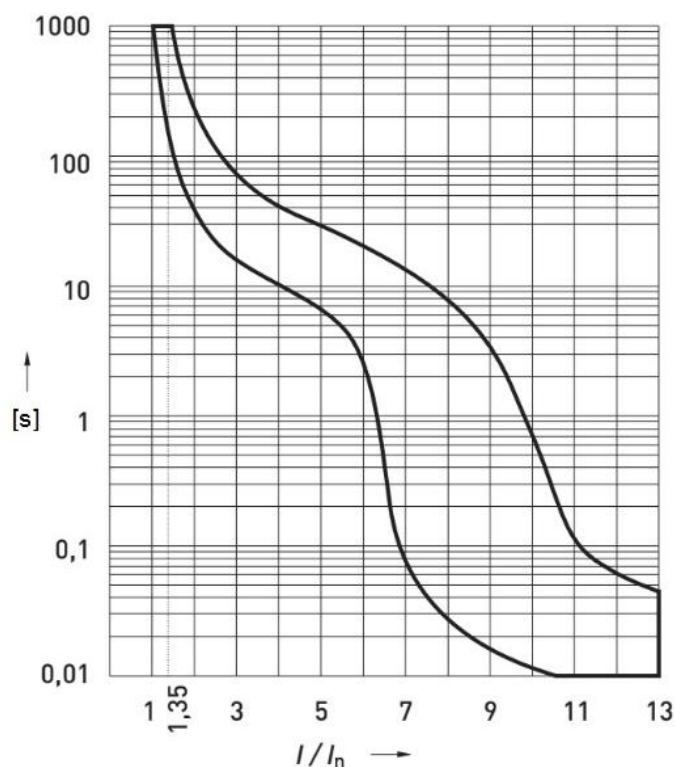


Рисунок 6 - Часо-струмова характеристика спрацювання АВ з гідравлічним сповільнювачем

Кремнійорганічна рідина, що використовується як сповільнювач розчеплювача АВ має малий тангенс кута втрат (при $25^{\circ}\text{C} < 0,0001$), кремнійорганічна рідина найбільш стійка до утворення цвілі, також має відносно низькі показники гігроскопічності і підвищену нагрівостійкість.

Для кремнійорганічної рідини характерна слабо виражена залежність в'язкості від температури. Мала величина сил міжмолекулярної взаємодії обумовлює їх малу в'язкість і як слідство незначну, в порівнянні з іншими рідкими діелектриками зміну в'язкості, викликану зниженням температури. Так при зниженні температури від 100°C до мінус 35°C в'язкість кремнійорганічної рідини збільшується всього у сім разів, а у мінеральних мастил – в 1800 разів (при однаковій початковій в'язкості). Наведені переваги кремнійорганічної рідини роблять її незамінним конструктивним елементом в приладобудуванні, радіотехніці та інших галузях електротехнічної промисловості [10-15].

ВИСНОВКИ

Підсумував проведене порівняння двох технічних рішень реалізації захисту від струмів перевантаження та КЗ, відзначимо, що застосування розчеплювача з електрогідравлічним сповільнювачем надає АВ певні переваги в порівнянні з використанням традиційного розчеплювача – біметалевої пластини:

- відносна відсутність залежності розчеплювача від температури оточуючого середовища;
- можливість швидкого повторного включення після спрацювання, в випадку виникнення аварійного режиму;
- зменшення часу спрацювання в разі виникнення режиму перенавантаження (зменшення швидкодії АВ, підтверджується багаторазовими практичними дослідженнями);
- стабільність часо-струмових характеристик АВ;
- замість двох функціональних елементів ми маємо один багатofункціональний, що призводить до конструктивного зменшення внутрішнього об'єму конструкції АВ;
- стійкість до вібрації.

Враховуючи переваги використання розчеплювача з електрогідравлічним сповільнювачем в АВ слід відзначити, що альтернативне технічне рішення захисту від струмів перевантаження та струмів КЗ має перспективу технічного розвитку та вдосконалення в даному електротехнічному напрямку [16-17].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Півняк, Г.Г. (2016). *Перехідні процеси в системах електропостачання*. Дніпро.
2. Шидловский, А.К., Пивняк, Г.Г., Выпанасенко, С.И., & Слесарев, В.В. (2000). *Эффективные режимы работы электротехнологических комплексов*. Днепропетровск: НГА Украины.
3. Zhezhelenko, I.V., Shidlovskiy, A.K., Pivnyak, G.G., & Saenko, Yu. L., editorship of the English version and terminology by Professor O.B. Ivanov. (2013). *Electromagnetic compatibility in electric power systems* (textbook for institutions of higher education from Ukrainian by S.I. Kostritska and I.O. Tokar). 2 nd edition. D.: National Mining University.
4. Pivnyak, G.G., Zhezhelenko, I.V., & Papaika, Y.A.. (2016). *Transients in Electric Power Supply Systems*. Textbook for institutions of higher education: under the editorship of G.G.Pivnyak; Ministry of Education and Science of Ukrainian, National Mining University. 5-th edition, revised and expanded: Translation from Ukrainian. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.
5. Неклепаев, Б.Н. (1973). *Средства ограничения токов короткого замыкания в электрических системах*. М.: МЭИ.
6. Неклепаев, Б.Н. (1978). *Координация и оптимизация уровней токов короткого замыкания в электрических системах*. М.: Энергия.
7. Ульянов, С.А. (1970). *Электромагнитные переходные процессы в электрических системах*. М.: Энергия.
8. Каору Ісікава. (1985). *Як керувати діяльністю бригад з контролю якості*,

Американське товариство з питань якості. ISBN 978-9999943109.

9. Каору Ісікава. (1986). *Посібник з контролю якості, Азіатська організація продуктивності. ISBN 978-9283310358.*

10. Розен, В.П., & Побігайло, В.А. (2001). Засіб струмообмеження як один з способів ефективного енерговикористання. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, 421, 181 – 188.

11. Розен, В.П., Тарадай, В.И., Несен, Л.И., & Побігайло, В.А. (1999). Аналіз підходів до вирішення проблеми обмеження струмів короткого замикання у виробничих і енергетичних системах. *ІЕЕ НТУУ «КПІ»*, 18.

12. Розен, В.П., Соловей, О.І., Момот, Д.С., & Побігайло, В.А. (2000). Математична модель роботи струмообмежувальних пристроїв за схемою «реактор – запобіжник». *Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія гірництво*, 4, 82 – 90.

13. Ель-Каді, М. А. (1998). Імовірнісний аналіз короткого замикання за допомогою моделювання Монте-Карло. *Інститут інженерів електротехніки та електроніки. Операції з енергетичними апаратами та системами*. 5, 1308_1316.

14. Патент України № 2002021620 від 15.11.2002 р. Спосіб обмеження струмів КЗ і пристрій для його реалізації. В.П. Розен, В.П. Калинчик, Д.Е. Момот, В.А. Побігайло.

15. Скловська, Е.Г., & Сердюк, Б.Н. (2015). *Економіка енергетики*. Київ : «Каравела».

16. Неклепаев, Б.Н. (2013). *Электрическая часть электростанций и подстанций*. М.: BHV.

17. Неклепаев, Б.Н. (2018). *Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования*. М.: Энас.

REFERENCES

1. Pivnyak, G.G. (2016). *Perekhidni procesi v sistemah elektropostachannya*. Dnipro.
2. SHidlovskij, A.K., Pivnyak, G.G., Vypanasenko, S.I., & Slesarev, V.V. (2000). *Effektivnye rezhimy raboty elektrotekhnologicheskikh kompleksov*. Dnepropetrovsk: NGA Ukrainy.
3. Zhezhelenko, I.V., Shidlovskiy, A.K., Pivnyak, G.G., & Saenko, Yu. L., editorship of the English version and terminology by Professor O.B. Ivanov. (2013). *Electromagnetic compatibility in electric power systems* (textbook for institutions of higher education from Ukrainian by S.I. Kostritska and I.O. Tokar). 2 nd edition. D.: National Mining University.
4. Pivnyak, G.G., Zhezhelenko, I.V., & Papaika, Y.A.. (2016). *Transients in Electric Power Supply Systems*. Textbook for institutions of higher education: under the editorship of G.G.Pivnyak; Ministry of Education and Science of Ukrainian, National Mining University. 5-th edition, revised and expanded: Translation from Ukrainian. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.
5. Neklepaev, B.N. (1973). *Sredstva ograniceniya tokov korotkogo zamykaniya v elektrichnskikh sistemah*. М.: MEI.

6. Neklepaev, B.N. (1978) *Koordinaciya i optimizaciya urovnej tokov korotkogo zamykaniya v elektricheskikh sistemah*. M.: Energiya.
7. Ul'yanov, S.A. (1970). *Elektromagnitnye perekhodnye processy v elektricheskikh sistemah*. M.: Energiya.
8. Kaoru Isikava. (1985). *YAk keruvati diyal'nistyu brigad z kontrolyu yakosti, Amerikans'ke tovaristvo z pitan' yakosti*. ISBN 978-9999943109.
9. Kaoru Isikava. (1986). *Posibnik z kontrolyu yakosti, Aziats'ka organizaciya produktivnosti*. ISBN 978-9283310358.
10. Rozen, V.P., & Pobigajlo, V.A. (2001). Zasib strumoobmezhennya yak odin z sposobiv effektivnogo energovikoristannya. *Visnik Nacional'nogo universitetu «L'vivs'ka politehnika»*, 421, 181 – 188.
11. Rozen, V.P., Taradaj, V.I., Nesen, L.I., & Pobigajlo, V.A. (1999). Analiz pidhodiv do virishennya problemi obmezhennya strumiv korotkogo zamikannya u virobничih i energetichnih sistemah. *IEE NTUU «KPI»*. Kiev. 8.
12. Rozen, V.P., Solovej, O.I., Momot, D.E., & Pobigajlo, V.A. (2000). Matematichna model' roboti strumoobmezhuvannih pristroїв za skhemoyu «reaktor – zapobizhnik». *Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu Ukraїni «KPI»*. Seriya girnictvo, 4, 82 – 90.
13. El'-Kadi, M. A. (1998). Imovirnisnij analiz korotkogo zamikannya za dopomogoyu modelyuvannya Monte-Karlo. *Institut inzheneriv elektrotekhniki ta elektroniki. Operacii z energetichnimi aparatami ta sistemami*, 5, 1308-1316.
14. Patent Ukraїni № 2002021620 vid 15.11.2002 r. Sposib obmezhennya strumiv KZ i pristrij dlya jogo realizacii. V.P. Rozen, V.P. Kalinchik, D.E. Momot, V.A. Pobigajlo.
15. Sklovs'ka, E.G., Serdyuk, B.N. (2015). *Ekonomika energetiki*. Kiїv.: «Karavela».
16. Neklepaev, B.N. (2013). *Elektricheskaya chast' elektrostancij i podstancij*. M.: BHV.
17. Neklepaev, B.N. (2018). *Rukovodyashchie ukazaniya po raschetu tokov korotkogo zamykaniya i vyboru elektrooborudovaniya*. M.: Enas .

Стаття надійшла до редакції 30.03.2020.